

熱間押出しにおける加工材の表面あらさの生成過程(第3報)

—Al-Mg₂Si系合金ビレット組成の影響—

室 谷 和 雄, 時 沢 貢, 松 木 賢 司

緒 言

近年, アルミニウム合金押出材の需要は急速な伸展を示し, 市場では種々のアルミニウム合金型材が要求され, そのために軽量で美しくかつ安価な耐食性のある高力アルミニウム合金(難加工材)の押出性の向上に着目され始めている。ところが, 製品の品質と生産能率をさらに向上させるためには, 工具と材料面間の摩擦を小さくし, 工具寿命を向上できるダイス面とビレット組成についての研究が必要である。そこで, 著者らがさきに試作した分割ダイを用いて熱間押出しを行えば, 押出材がダイベアリング面を通して流動する過程が直接観察できるので, 第1報¹⁾および第2報²⁾で工具面の仕上げ状態と工具面材質が押出材の表面性状に及ぼす影響を調べた。なお, これまでA. J. Bryant³⁾やC. V. Lynch⁴⁾による報告があるが, それは熱間押出しを終えた加工材の表面観察からのみの結果で不明な点が多い。この点, この装置を利用すれば押出後分割できるので, ベアリング面と押出材とを対応させた押出材の表面あらさの生成過程がみられる。続いて, 本報は工具面を一定とし, 素材組成の異なった種々のビレットを作製し, ベアリング面と素材組成の変化が加工材の表面あらさに及ぼす影響とその生成機構を検討した。

1. 実 験 方 法

装置の原理は, 前報で用いたのと同様な熱間押出用工具を使用した¹⁾が, 図1に示すように一部改良して, 押出し後の観察を容易にできるよう工夫した。ビレット④はA-A断面図に見られるごとくダイ⑥とコンテナ⑤の中に組込まれる。ダイはB部拡大図のような簡単に取換えできるベアリング⑦と一体になっている。押出し後は④と⑥をセットにし, ⑤から押して抜き, ④と⑥を分割する方法で加工材の表面とベアリング面を対応させて観察することができる。

ベアリング面の仕上条件は第1, 2報の結果を参照し, 押出材の表面あらさに影響しやすいベアリング面付着を示したSKD 61のバフ研磨面を採用した。それにより, ベアリング面仕上状態の影響をできるだけ少なくし, 素材組成の影響が顕著に現われるようにした。また, 本押

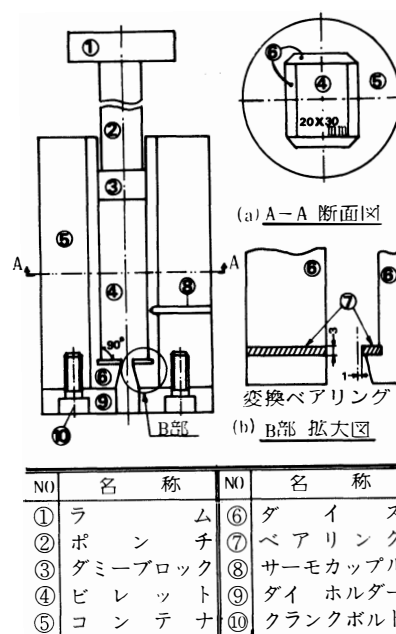


図1 熱間押出用装置

出装置はベアリングの取換えも可能であるので、同一ビレットで片側はSKD面、反対側は窒化処理面（N化面）で同時に押出した加工材の表面を比較できる。

実験に用いた試料は、表1に示す三つのグループに分け、99.9%純AlにMg₂Siを溶製した母合金を作り、底部銅板水冷噴流金型により、Mg₂Si

含有量の目標値として0.6, 0.8, 1.0, 1.3%のものを作成し、それぞれA, B, C, D合金とした。鑄造後の熱処理方法はH₁, H₂, H₃とし、H₁をA.C.材、H₂をW.Q.材、H₃をF.C.材と以下呼ぶことにする。グループ(I)はAl-Mg-Si系合金の素材組織であるMg₂Si硬質粒子の分布状態を、Mg₂Si含有量と熱処理条件によって図2に示すように著しく変化させ、分布状態が押出材表面あらさに及ぼす影響を調べる。A.C.材の場合はほぼ全面にMg₂Siが析出しており、W.Q.材はA.C.材に比較してMg₂Siが固溶して析出量は少ない。一方、析出処理を施したF.C.材の場合には、Mg₂Siが多く析出しているのがわかる。また、グループ(II)とグループ(III)はMg₂Si量を一定とし、(II)は過剰なSiおよび過剰なMgについて調べることを目的とし、(III)はFeおよびSiが過剰に同時添加されている場合で、Al-0.8Mg₂Si合金に対する過剰な添加は、これまでの既報による“押出し加工材の表面生成を支配するベアリング面と加工材の表面特性”の結果を素材側からみた押出材表面性状によって、さらに確認することを目的とした。

ビレット寸法は図1(a)に示す20×30mm²の長さ100mmで、押出比は12、押出材は厚さ2mm×幅26mmの板材で長さ約600mmの押出加工材を得る。押出温度は480℃に加熱し、⑧のサーモカップルで検温しながら直ちに30トンアムスラー型万能材料試験機に移し、押出速度1.4±0.1mm/secで押出した後、ダイスを分割してベアリング面と押出材表面をTalysurf Model 4で表面記録し、あらさを測定した。また、ベアリング面上の付着物を写真観察し、押出し残部のビレットについてはその断面をX線マイクロアナライザを使用して成分移動も調べた。

表1 ビレット組成と熱処理方法

合 金		成 分 (wt%)		熱 処 理	
グループ	記 号	Mg ₂ Si相当含有量	記号	方 法	
I	Al-	A 合金	H ₁	590℃, 24時間 加熱後 空冷 (A.C.)	
		B 合金	H ₂	590℃, 24時間 加熱後 水冷 (W.Q.)	
		C 合金	H ₃	590℃, 24時間 加熱後 水冷 (W.Q.)	
		D 合金		続いて 400℃, 24時間 加熱後 炉冷 (F.C.)	
II	Al-B合金 (Mg ₂ Si; 0.8%)	過 剰	H ₁	590℃, 24時間 加熱後 空冷 (A.C.)	
		Si			
		0.5			
		1.0			
III	Al-B合金 (Mg ₂ Si; 0.8%)	0.5	H ₁	590℃, 24時間 加熱後 空冷 (A.C.)	
		1.0			
		Fe			
		Si			
		0~	H ₁	590℃, 24時間 加熱後 空冷 (A.C.)	
		1.0			
		0.5			
		1.0			

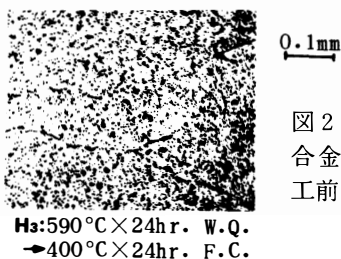
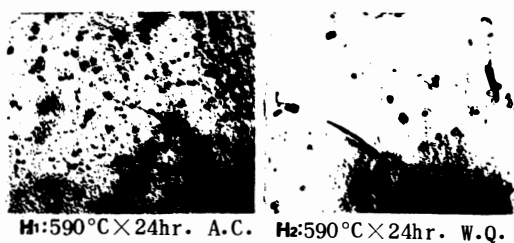


図2 Al-Mg-Si合金“B”の押出加工前の顕微鏡組織

2. 実験結果

2.1 Mg₂Si粒子の影響

図3は押出加工過程で押出材表面あらさが一定になった400mm長さ付近の中心線平均あらさ値を示した。図は省略したが、一般の押出材の表面あらさは、押出開始時の初期ではあらず、押出加工が進行するにつれてあらさは飽和し、300~400mmで安定な一定値となる。横軸の合金記号A~DでMg₂Si量が増えるに従ってあらさは大きくなる。いずれの熱処理を施した材料の場合も同様にあらくなるが、F. C. 材はA. C., W. Q. 材に比較してあらさは著しく大きくなり、熱処理条件とよく一致し、H₂→H₁→H₃の順位であらくなる。このことから押出前のビレットは、Mg₂Si粒子の析出をできるだけ少なくするために急冷し、固溶させた均質化熱処理が良好であることがわかる。

2.2 ダイベアリング面の観察

さきの図3に示した表面あらさの異なる原因を、図4および図5に示したバフ研磨のベアリング面の観察写真および表面記録曲線より検討した。同じビレット組成からなる“C”合金3個の素材を押出加工過程の3段階10mm, 100mm, そして400mmの中止点で、それぞれベアリング面の

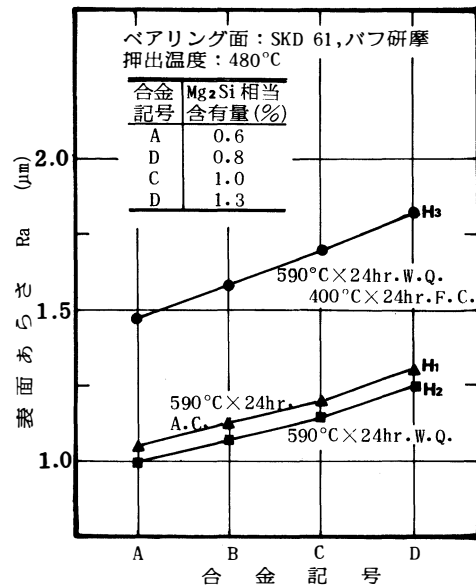


図3 Al-Mg-Si合金の熱間押出加工における押出材の表面あらさ

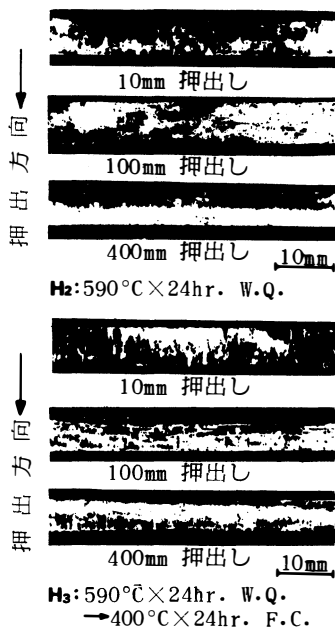


図4 押出加工過程におけるベアリング面(合金“C”)

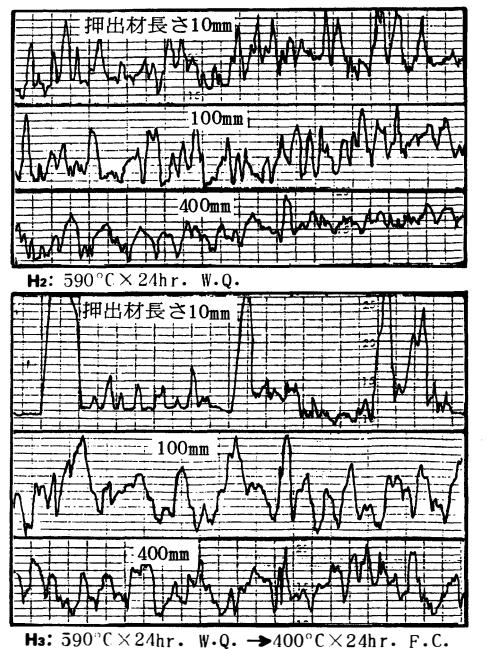


図5 Al-Mg-Si合金“C”の押出加工過程におけるダイベアリングの表面記録曲線

拡大写真とその表面記録曲線を調べ記録した。590℃加熱後、急冷処理したH₂処理材では押出しの初期で付着はまばらであるが、すでにある一定の連続した凹凸曲線となり、100mm、400mmと進行するにつれ、微細な凹凸で全面に広がった均一な薄膜状付着であることから、同材質で塑性流動を起し、なめらかな押出材表面が得られることはあらず曲線と対応して見ても明らかである。しかし、析出粒子の多いH₃（2段処理）処理材では、押出し長さ10mmの初期はH₂材と同様なアトランダムな付着で、押出し方向と平行に帯状の付着が認められる。この帯状付着は記録曲線のピークに相当し、そのピーク数は100mm、400mmとなるにつれて増加し、400mm付近ではあらい凹凸曲線となり、観察写真においても多数の白い帯状付着部分と地の黒い部分が見られる。この理由は、Mg₂Si析出粒子がベアリング面上で押出方向に伸びるように堆積して、押出材表面をあらくする発生原因になっていることが明らかである。

2.3 Al-0.8Mg₂Si合金に過剰添加した合金元素の影響

つぎに、Al-0.8Mg₂Si合金の押出材表面に対する各種添加元素の影響をバフ研摩したSKD面とそれに窒化処理（N化）を施したN化面とを同時に調べられるように工夫した押出装置を用いた結果を図6に示した。SKDバフ研摩で押出した場合、過剰Mg添加ではなめらかな押出材表面となり、この結果は第2報²⁾で示したベアリング面への偏析付着が押出材を良好にするという結果と一致する。しかし、Siはその逆で第2報でも粗面になる傾向となり、本結果の過剰Si添加でもこの結果は明らかである。また、Feについても同様であり、Siほど顕著でなく、むしろ、Fe-Siとして添加した場合の方があらくなる。一方、N化処理面で押出した場合、あらくなる順位はMg、Si、Fe、Fe-Siとなり、さきのSKD面の傾向と異なるのは、Si単独添加の場合で、原因はベアリング面と押出材との合金性、親和性によると考えられ、原因を図7のEPMA分析結果で調べた。一般に押出材のビレットからダイスを通して流れる場合、領域（Ⅰ）はそのまま絞り加工で押出材の芯部となり、領域（Ⅱ）は内部せん断加工を受けて押出材表面に位置し、この時、ダイス首部で再結晶した微細な押出材組織となる。そこで、X線強度を分析した領域（Ⅱ）に注目すれば、図7（a）のSKD面ではSiが芯部の⑤に比較して②で著しく偏析した押出材表面となるが、N化処理面では②で芯部とは

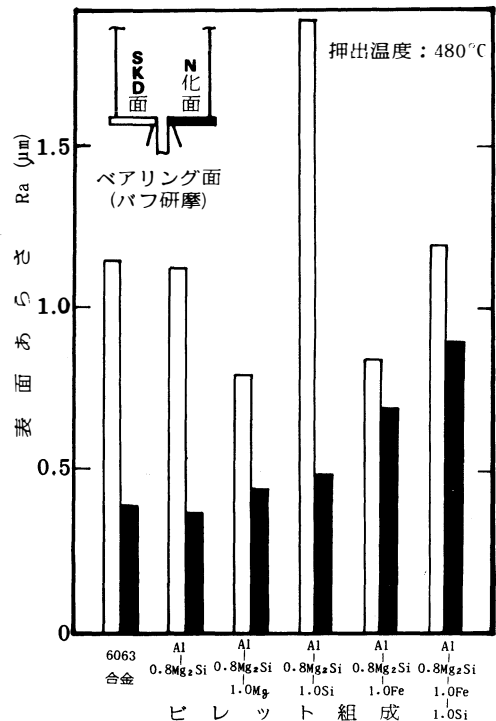


図6 押出加工材の表面あらさに及ぼす添加元素の影響

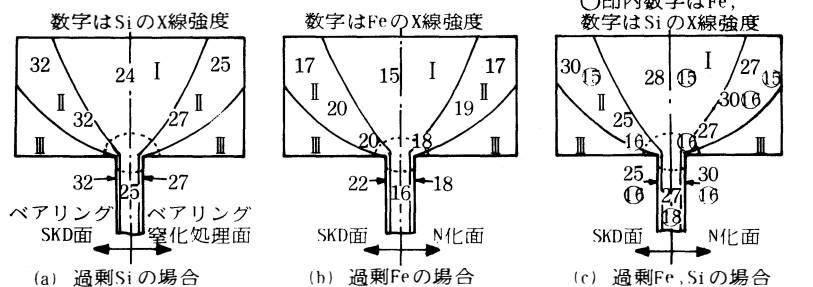


図7 押出し流れ過程で変化する過剰添加元素のX線強度（定性分析）

とんど変わらないことから、押出材の粗面化の発生原因が明らかである。また、その他のFe, Fe-Si添加については、Siほど顕著な差はないので、押出材の粗面化はFe粒子、Fe-Si粒子のベアリング面でのころがり、または一部付着によって粗面化するものと考えられる。また、このころがりおよび付着の程度はやはり、SKD面の方がN化面よりも添加元素との親和性が強いので、押出材のあらさも異なってくるといえる。

2.4 工場実験で発生した表面欠陥例

この実験は、以上述べた結果を生産工場で発生する表面欠陥と対比し検討したものを示した。図8はある工場の2000トンプレスで押出した型材表面の欠陥部であり、この防止対策には色々と苦慮しているのが現状である。図8(a)は1本の押出材断面の連続マイクロ写真で、上段のムシレ部先端“A”部には引き裂いたような亀裂が発生しており、中段の肌荒部では、表面層“B”部でステックスリップ割れ現象が認められ、そのステック部では表面破断が生じている。下段は押出材内部の正常部“C”部である。そこで、A～C部についてEPMA分析でX線強度を測定したところ、欠陥の生じていない正常部“C”ではAl, Fe, Si, Mg, O₂のうち、Fe, Si, Mg成分の分布挙動は定常値を示し、さほど変動はなく欠陥には無関係であるが、“A”と“B”の欠陥部では変化の激しい同一成分挙動を示している。ここで、注目されるのはFeおよびSi元素が異常に著しい偏析を起こしていることがわかる。これはダイスのFeと親和性が大きく、やはりAl, Fe, Si系化合物が生成されているものと推定され、前述の実験結果と一致している。本報のような小型ダイスによるあらさ面の変化は、大型押しではさらに顕著なあらさ挙動を示し、欠陥の発生に結びついている。この結果、押出材表面とベアリング面との界面摩擦挙動によるので、これらの化合物の生成を阻止するか、またはベアリング面上に堆積させないで流出できるような素材組成ならびに工具面およびその形状についての研究が今後必要とされる。

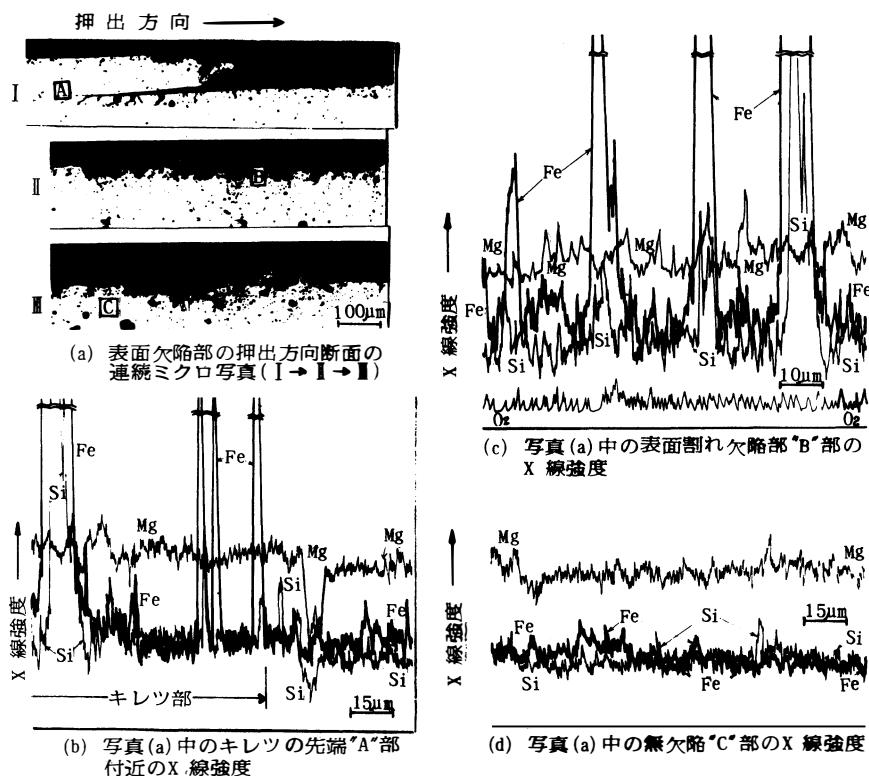


図8 表面欠陥のムシレ発生部をEPMA分析した成分挙動

結 言

(1) 押出加工材の表面あらさの変化は、ベアリング面や付着物の組成とその付着物状態によって著しく異なり、これらの要因はビレットの素材組成と工具および加工材との間で金属元素間の親和力の相違によって起こる。

(2) ベアリング面での付着状態は、SKD面、N化面ともに薄膜状付着の場合、なめらかな加工材が得られ、押出加工方向に対して線状もしくは帯状付着する場合、押出加工材の表面あらさは大きくなる。

(3) ビレット組成の Mg_2Si 含有量が増大すると加工材表面あらさは大きくなるが、それよりも熱処理による影響が大きく、析出量が多くなると加工材表面はあらかくなる。

(4) $Al-0.8Mg_2Si$ 合金に過剰Siを添加すれば、SKD面ではベアリング面に帯状付着となり、押出材は著しく粗面化するが、FeおよびFe-Siとして添加すればN化面でも粗面化するが、この場合あらさ曲線は連続している。

(5) ビレット中にAl-FeおよびAl-Fe-Si系化合物が偏析すれば、表面欠陥の発生源になりやすい。

参 考 文 献

- 1) 室谷和雄, 時沢貢: 熱間押出しにおける加工材の表面あらさの生成過程 (第1報).
—ベアリング面のあらさと長さの影響— 富山大学工学部紀要29(1978)6.
- 2) 室谷和雄・時沢貢: 熱間押出しにおける加工材の表面あらさの生成過程 (第2報).
—ビレットとベアリング面との摩擦構造の影響— 富山大学工学部紀要31(1980)20.
- 3) A. J. Bryant: Z. Metallkunde, 62(1971)701.
- 4) C. V. Lynch: Z. Metallkunde, 62(1971)710.

On the Formation Process of Surface Roughness of Products in the Hot Extrusion (3rd Report)

—Effects of Al- Mg_2Si Alloy Billet Structures—

Kazuo MUROTANI, Mitsugu TOKIZAWA, Kenji MATSUKI

The extrusion tools can be easily split along the tool-metal interface as in the previous paper, and also the bearing chips set in the tools are designed to be exchangeable. The effects of billet structures on the formation of surface roughness of products are discussed under the condition that the bearing chip surfaces are SKD and nitrided

SKD.

The results are summarized as follows.

The coarse particles of Mg₂Si are the cause of roughened surface in the products. The main defects are pick-up and tearing caused by coarse particles of Fe, Fe-Si, and reduce the critical extrusion rate.

〔英文和訳〕

熱間押出しにおける加工材の表面あらさの生成過程(第3報)

—Al-Mg₂Si系合金ピレット組成の影響—

室谷 和雄, 時沢 貢, 松木 賢司

押出工具は前報と同様に工具と材料面間で簡単に分割し、工具にセットされたベアリングチップは取換えできるように設計した。工具面はSKDとそれに窒化したもので、加工材の表面あらさの生成に及ぼすピレット組成の影響を検討した。その結果を要約すれば、次のようになる。Mg₂Siのあらい粒子は、加工材の表面をあらくする。Fe、Fe-Si系のあらい粒子は、ピックアップやテアリングの原因となり、そして押出限界速度を低下させる。

(1981年11月20日受理)